

基于 AHP 的湖南省耕地适宜性综合评价

赵晓丹¹, 杨雅萍², 荆文龙^{2,3}

(1. 河南大学环境与规划学院, 河南 开封 475004; 2. 中国科学院
地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:以湖南省为研究区,结合湖南省的实际情况,构建了耕地适宜性综合评价指标体系,在 GIS 技术的支持下,运用回归树、核密度等地理空间建模方法提取计算参评因子,在此基础上构建了评价因子数据库。基于多指标决策(MCDM)框架,利用层次分析法(AHP)确定各参评因子的权重,选择加权叠加法进行耕地适宜性综合分析,并将耕地适宜性分为高度适宜,中度适宜,勉强适宜和不适宜四类。在数量上,各适宜等级面积分别占湖南省面积的 24.34%, 27.70%, 32.35%, 15.61%;在空间分布上,湖南省耕地适宜性总体呈现东高西低的分布特点,高度适宜和中度适宜的地区主要分布在湘北洞庭湖平原以、湘江平原地区和湘中丘陵区盆地;勉强适宜和不适宜地区主要分布在湘西、湘西北、湘东南部分地区。

关键词:耕地适宜性; 综合评价; 层次分析法(AHP); 湖南省

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)02-0219-05

Evaluation on Comprehensive Suitability of Cultivated Land in Hunan Province Based on AHP

ZHAO Xiaodan¹, YANG Yaping², JING Wenlong^{2,3}

(1. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng 475004, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the actual situation of Hunan Province, this paper built the index system of land suitability comprehensive evaluation, and with the support of GIS technology, regression tree and kernel density estimation were used to extract and compute the evaluation factors, then the evaluation factor database was constructed. Based on the multiple criteria decision making (MCDM) framework, the weight of each factor was determined by using analytic hierarchy process (AHP), result of cultivated land suitability was achieved through weighted superposition method, and the cultivated land suitability could be divided into highly suitable, moderately suitable, marginally suitable and unsuitability, the proportions of four categories were 24.34%, 27.7%, 32.35%, 15.61%, respectively. Overall, cultivated land suitability distribution demonstrates that the suitability was strong in the east and weak in the west, the strong suitability areas are mainly located in the north of Dongting Lake Plain and the Xiangjiang River Plains, marginally suitable and unsuitable areas are mainly located in western, northwestern and southern mountain areas of Hu'n'an Province.

Keywords: cultivated land suitability; comprehensive evaluation; analytic hierarchy process (AHP); Hu'n'an Province

耕地适宜性评价是对影响耕地各种条件的综合评估,是通过对耕地的自然、经济、生态属性的综合鉴定,以及对耕地的适宜性、限制性及其程度差异的评定。自联合国粮农组织(FAO)公布《土地评价纲要》以及其他的有关耕地适宜性评价指南以来,人们对耕地适宜性评价日趋重视,有关评价的理论和方法也不

断完善。目前常用的方法有多指标决策方法(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)^[1-3]、模糊综合评价模型^[4]、人工神经网络模型^[5]、遗传算法^[6]、元胞自动机方法^[7]等。本文以湖南省为研究区域,基于多指标决策(MCDM)框架,根据耕地适宜性评价的原则和主要影响因素选取土壤条件、地形条件、气候条

件、生态安全因子、区位条件五种要素 11 个评价因子,运用层次分析法计算各因子的权重值,在 GIS 支持下,以 90 m×90 m 栅格为评价单元,选择加权叠加法对湖南省耕地适宜性进行综合分析,以期在对区域耕地进行适宜性评价基础上全面了解区域的耕地资源状况,确定耕地资源的重点保护对象,为土地资源优化配置提供依据,从而有利于耕地的合理利用和保护,维持区域的可持续发展。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

湖南省位于长江中游南部,地处东经 108°47′—114°15′、北纬 24°38′—30°08′,土地总面积 21.18 万 km²。位处云贵高原向江南丘陵及南岭山脉向江汉平原过渡地带,地形轮廓以雪峰山为界,西部主要为山地,地势相对较高;东部主要为丘陵,地势相对较低,自西向东交替过渡,山地多,平地少,地貌类型以山地、丘陵为主,北部为洞庭湖平原。湘、资、沅、澧四水(简称“四水”)以及汨罗江、新墙河等从东、南、西三面汇入洞庭湖,形成洞庭湖水系。湖南年日照时数为 1 300~1 800 h,热量资源丰富。年平均气温 16~18℃。年平均降水量 1 200~1 700 mm,雨量充沛,为我国雨水较多的省区之一。受复杂地形和耕作条件的限制,湖南省境内耕地资源匮乏,人地矛盾突出。

1.2 数据来源

湖南省 90 m 分辨率数字高程模型(DEM)数据来自地球系统科学数据共享网(<http://www.geodata.cn>)。湖南省地貌数据来自中国 1:100 万地貌数据集(来源:地球系统科学数据共享网,<http://www.geodata.cn>)。土壤数据来自基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1);道路及城市驻地数据来自中国 1:400 万全要素基础数据(来源:地球系统科学数据共享网,<http://www.geodata.cn>);湖南省及周围共 47 个气象站点数据源自中国气象科学数据共享中心(<http://cdc.cma.gov.cn/home>),NDVI 数据采用 MODIS16 d 合成 NDVI 产品(MOD13Q1,来源:<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>)。本文选择 90 m×90 m 的格网作为评价单元。在 ArcGIS 10.0 软件的支持下,将各参评因子层转换成 GRID 格式,格网大小统一为 90 m×90 m。

2 评价方法

2.1 评价分类体系

根据联合国农粮组织(FAO)1976 年《土地评价纲要》、《农用地分等规程》等相关规程,根据耕地的适

宜性和限制程度及生产能力的高低,将湖南省耕地适宜性分为高度适宜(S1)、中度适宜(S2)、勉强适宜(S3)和不适宜(N)等 4 个等级^[8]。

高度适宜(S1):耕地质量最好,耕地利用高度适宜,耕地质量评价的各项指标均处于最好或较好的状态,耕地利于所定用途的可持续利用,且具有较好的效益和较高的生产率;

中度适宜(S2):对耕地中等适宜,耕地质量较好,耕地质量评价的各项指标处于一般状态,耕地对所定用途有一定的限制性,且经济效益一般;

勉强适宜(S3):耕地勉强适宜于所定用途,耕地质量较低,并且对所定用途有着较高的限制性,由于耕地的生产率和效益很低,容易引起当地的耕地退化;

不适宜(N):土地对耕地具有绝对的限制性。在目前的技术水平和可接受的成本投入条件下,土地对耕地来说不能利用或不能持续利用。

2.2 评价因子的选择及量化

2.2.1 评价因子体系 为确保评价结果的精确性和客观性,遵循综合分析、主导因素、稳定性、差异性、独立性和现实性原则,参考 FAO《土地评价纲要》、《中国 1:100 万土地资源图》、《耕地地力调查与质量评价技术规程》、《省级主体功能区划技术规程》等相关规程以及相关学者的研究^[9-12],并结合湖南省耕地资源分布特点和主要问题,选取土壤条件、地形条件、生态安全条件、气候条件和区位条件 5 个要素 11 个因子作为湖南省耕地适宜性评价的评价因子(表 1)。

表 1 湖南省耕地适宜性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
耕地适宜性评价	土壤条件	土壤质地
		有机质
		土壤 pH 值
		有效土层厚度
	地形条件	坡度
		高程
		水土流失强度
	生态安全因子	地质灾害易发性
		≥10℃ 积温
	气候条件	降雨量
	区位条件	交通优势度

2.2.2 评价因子计算方法

1) 坡度因子,基于 DEM 数据利用 ArcGIS 10.0 软件的 Slope 命令生成。

2) ≥10℃ 积温因子,利用回归树模型以湖南省及其周围 47 个气象站点 1970—2001 年累年平均积温数据为训练样本进行回归建模(以积温为因变量,以气象站点的经度、纬度和海拔高度为自变量),并将

DEM 数据输入模型从而得到栅格化的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温分布数据^[13]。

3) 年平均降雨量数据是利用地球系统科学数据共享网 1 km 的年平均降雨量数据通过 Spline 插值得到 90 m 分辨率的年平均降雨量数据。

4) 水土流失因子的计算时采用修正土壤侵蚀方程(RUSLE)计算得到^[14],其表达式如下:

$$A=K\cdot R\cdot L\cdot S\cdot C\cdot P$$

式中: A ——年平均土壤流失量 $[\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})]$; R ——降雨侵蚀因子 $[(\text{J}\cdot\text{mm})/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})]$; K ——土壤可蚀性因子 $[\text{h}/(\text{MJ}\cdot\text{mm})]$; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——覆盖与管理因子; P ——水土保持措施因子。

其中,土壤可蚀性因子 K :以土壤类型图为数据基础,运用 EPIC 模型计算生成了土壤可侵蚀性专题图。降雨侵蚀力 R :基于湖南省及周边 44 个气象站

点日观测资料,利用日雨量估算半月侵蚀力的降雨侵蚀力模型^[15],将每半月侵蚀力进行统计汇总得到各测站 1960—2010 年近 42 a 平均降雨侵蚀力,各站降雨侵蚀力,用克里金内插法插值得到表面模型。

坡度坡长因子 LS :利用 AML 语言程序基于 DEM 数据计算坡度和坡长因子,然后利用 LS 因子公式计算 LS 因子值。

植被与作物管理因子 C :根据蔡崇法等的方法计算植被与经营管理因子 C 。其中植被覆盖度利用像元二分法基于 NDVI 数据得到。

水土保持措施因子 P :参考相关研究成果,针对不同的土地利用类型赋予不同的 P 值,其中林地、草地、建筑用地一般未采取水土保持措施,因此赋值为 1;水体为 0;对于耕地,通常坡度越大,水土保持措施的作用越突出,因此耕地依据表 2 按照坡度范围赋值。

表 2 不同坡度范围耕地的 P 值

坡地范围	5°	$5^{\circ}\sim 10^{\circ}$	$10^{\circ}\sim 15^{\circ}$	$15^{\circ}\sim 20^{\circ}$	$20^{\circ}\sim 25^{\circ}$	$>25^{\circ}$
P 值	0.100	0.221	0.305	0.575	0.705	0.800

5) 湖南省滑坡灾害较为严重,在地质灾害因子计算中,主要考虑滑坡灾害。

地质灾害因子的计算包括两步:首先利用核密度估计对于已有的滑坡灾害点数据探索其发生热点区域,计算其发生密度;然后基于利用回归树模型,建立滑坡灾害发生密度与地形地貌、气候因子和土壤因子的关系(在进行样本训练时,由于数据量较大,使用空间随机抽样方法,以 5% 的比例进行随机采样,得到训练样本)。计算得到 90 m 分辨率的滑坡灾害发生概率分布图。

6) 交通优势度数据通过计算交通网络密度、交通干线影响度和区位优势度三个要素指标进行无量纲处理,并进行加权求和得到。其中:交通路网密度运用核密度估算法计算^[16]。

根据以上计算方法,得到各评价因子计算结果如附图 14(a—k)所示。

2.3 评价因子权重及分级

2.3.1 评价因子权重 采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[17-19] 确定评价中各因子的权重。

根据专家对各评价因素重要性的打分结果,汇总统计各因素的确认分值,通过建立层次结构、构造判断矩阵,用方根法计算出矩阵的最大特征值及其对应的特征向量,并进行一致性检验,当一致性系数小于 0.1 时,说明一致性较好,权重分配合理。通过层次单元排序及其一致性检验、总层次排序及其一致性检

验得出各因子的组合权重,各因子权重值见表 3。

2.3.2 评价因子的分级 评价因子分级是根据评价因子对耕地适宜性的影响程度,将评价因子划分为若干等级。评价因子的分级和量化参考国土资源部颁布的《农用地分等规程》、国内外相关研究成果^[20-21],并综合湖南省考察期间部分市级农业局相关人员的意见最终确定。各因子分值越大表示对耕地的适宜性越好,具体结果见表 4。

3 耕地适宜性综合评价及结果分析

耕地适宜性评价采用指数和法,即根据各评价因子综合权重进行各指标要素的加权叠加分析,具体计算公式如下:

$$S=\sum_{i=1}^nW_iA_i$$

式中: S ——耕地适宜性综合得分; W ——第 i 个因素的权重; A ——第 i 个因素的分级分值; n ——参评因子数。

计算得到湖南省耕地适宜性综合评价结果值域范围为 3.776~9.582。湖南省内河网密布,为了消除结果中水体的影响,以湖南省河流湖泊图层为掩膜,将评价结果中水体区域统一赋值为零,根据所得综合得分并结合研究区特点,利用 ArcGIS 的自然断点法进行分级。将湖南省的土地适宜性分为 4 级,高度适宜(S_1)、中度适宜(S_2)、勉强适宜(S_3)、不适宜(N)。具体分级标准见表 5,分级结果见附图 14l。

表 3 基于 AHP 计算的各因子权重

准则层	土壤条件 C1 (0.4020)	地形条件 C2 (0.2645)	生态安全因子 C3 (0.1810)	气候条件 C4 (0.1040)	区位条件 C5 (0.0485)	综合权重 $\sum C_i A_i$
有效土层厚度(A1)	0.4457					0.1792
土壤有机质(A2)	0.2848					0.1145
土壤质地(A3)	0.1644					0.0661
土壤 pH(A4)	0.1051					0.0423
坡度(A5)		0.6500				0.1719
高程(A6)		0.3500				0.0926
土壤侵蚀强度(A7)			0.5000			0.0905
地质灾害易发性(A8)			0.5000			0.0905
≥10℃积温(A9)				0.6000		0.0624
降雨量(A10)				0.4000		0.0416
交通区位条件(A11)					1.0000	0.0485

表 4 耕地适宜性评价指标分级赋值

分值	有效土层厚度/cm	有机质/%	土壤质地	土壤 pH	坡度	高程/m
10	>100	≥4.0	壤土	6.5~7.5	<2°	
9		3.0~4.0	粉砂壤土、砂质黏壤土	7.5~8.5	2°~5°	<300
8	60~100	2.0~3.0	黏土	5.5~6.5	5°~8°	300~500
7		1.0~2.0	粉砂黏壤土、黏壤土			500~800
6		0.6~1.0		4.5~5.5	8°~15°	
5	20~60	<0.6	砂质壤、壤质砂土			800~1200
4						
3	<20			<4.5	15°~25°	>1200
2						
1					≥25	

分值	土壤侵蚀强度	地质灾害易发性	≥10℃积温/℃	降雨量/mm	交通优势度
10	微度		≥5500	>2500	
9		低易发区	5300~5500	2000~2500	
8	轻度		5100~5300	1500~2000	0.6~1
7			4900~5100	1000~1500	
6	中度	中易发区		≤1000	0.4~0.6
5			4700~4900		
4	强烈				0.2~0.4
3		高易发区	<4700		
2	极强烈				≤0.2
1	剧烈				

表 5 湖南省耕地适宜性评价分级

耕地适宜性等级	得分	所占比例/%
高度适宜(S1)	>8.421	24.34
中度适宜(S2)	7.602~8.421	27.70
勉强适宜(S3)	6.759~7.601	32.35
不适宜(N)	<6.759	15.61

总体来说,湖南省的耕地适宜性呈现东高西低的特点,高度适宜和中度适宜的耕地分别占 24.34%和 27.7%,也有相当面积的耕地处于勉强宜耕和不适宜耕作的状况,其中勉强宜耕耕地面积为 32.35%,不宜耕的耕地面积占 15.61%。耕地的高适区域主要分布在湘北洞庭湖区、湘中南丘陵盆地,该区域具有优良的光、温、水、土条件,经济地理区位条件优越,耕

地投入和利用效益都较好,自古以来是我国农业的精华地带,农业自然条件优越,农业资源丰富,其中常德、岳阳、益阳、衡阳这四个地区的高度适宜性面积占了全省高度适宜耕地面积的 52.8%,达一半以上。中度适宜耕地主要位于湘中、湘南、湘西部分地区。湘中部分地区虽然农业生产的自然条件相对优越,但降雨时空分配不均,降雨主要集中在春夏两季,加之渠系配套设施年久失修,干旱和洪涝灾害较为严重,一定程度上影响耕地适宜性。同时,湘西怀化市部分地区,位于西部雪峰山脉和武陵山脉之间的农业带,表现为中度适宜。怀化、郴州、衡阳、邵阳四个地区的中度适宜性耕地占全省中度适宜性耕地面积的 55.14%。勉强适宜性耕地主要位于湘西、湘南和湘

西北部分地区,这些区域坡度较大、土层较薄,土壤耕性差,生产能力较低,降水空间分布不均匀,自然灾害较为严重,怀化市、张家界市、湘西苗族土家族自治州及邵阳市的勉强适宜性耕地面积占全省勉强适宜性耕地面积的 45.6%。不适宜耕地主要位于湘西、湘西北,武陵山—雪峰山山地,该区域地势陡峭、峡谷幽深、坡度大,光热偏少,土壤质地差,土层贫瘠,土地没有集中连片,水土均缺。同时,其区域降水特征时空变化大,年际变化也大,常发生集中暴雨,土壤侵蚀强度大,水土流失严重,也容易诱发山洪等地自然灾害和滑坡等地质灾害。怀化市、张家界市、湘西苗族土家族自治州及永州、郴州的不适宜面积占全省不适宜耕地面积的 60.9%(图 1)。

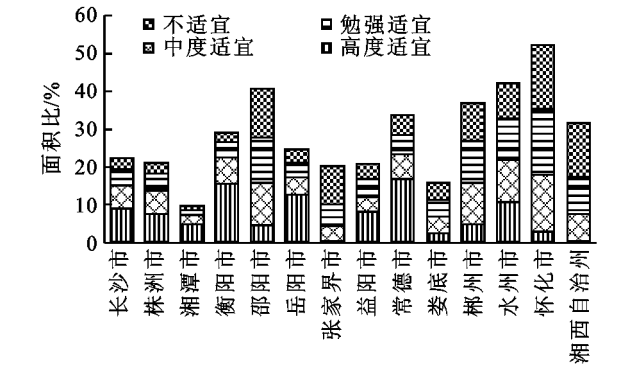


图 1 湖南省各市耕地适宜等级

4 结论

本文以湖南省为研究区域,基于多指标决策(MCDM)框架,选取土壤条件、地形条件、气候条件、生态安全因子、区位条件五种要素 11 个评价因子,运用层次分析法计算各参评因子权重,选择加权叠加法对湖南省耕地适宜性进行综合分析,将耕地适宜性分为高度适宜,中度适宜,勉强适宜和不适宜四类。

受复杂地形和耕作条件制约,湖南省内耕地分布地域差异明显,在空间分布上,湖南省的耕地适宜性总体呈现东高西低的特点,高度适宜和中度适宜的耕地主要分布在湘北洞庭湖平原以及湘江平原地区和湘中丘陵区盆地;勉强适宜和不适宜耕地主要分布在湘西、湘西北、湘东南部分地区。

本文以 GIS 空间插值、核密度分析、空间叠加模型等方法生成评价因子图和综合评价结果图,并进行图形和属性的叠加分析,运用加权模型对耕地适宜性进行定量评价。应用表明,GIS 技术和评价模型的有效集成既节约了时间提高了效率,又提高了精度,为湖南省土地资源优化配置提供依据。然而,多指标决策方法虽然在土地适宜性评价中得到了广泛的应用,其评价结果还存在诸多不确定性,如评价因子的权重的确定,为了使土地适宜性评价结果更好的应用实践

之中,应通过敏感性分析,对评价结果的鲁棒性加以评价,这也是今后研究的主要方向之一。

参考文献:

[1] 刘孝宝,邓良基,高吉喜,等. 雅安山区耕地后备资源综合生产力评价[J]. 山地学报,2004,22(3):303-309.

[2] Ceballos-Silva A, López-Blanco J. Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in Central Mexico: a multi-criteria and GIS approach[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2003,95(1):371-377.

[3] Xu E, Zhang H. Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation[J]. Applied Geography, 2013,45(5):1-9.

[4] 陈健飞,刘卫民. Fuzzy 综合评判在土地适宜性评价中的应用[J]. 资源科学,1999,21(4):71-74.

[5] 杨国栋,贾成前. 高速公路复垦土地适宜性评价的 BP 神经网络模型[J]. 系统工程理论与实践,2002,22(4):119-124.

[6] 刘耀林,焦利民. 基于计算智能的土地适宜性评价模型[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(4):283-287.

[7] 於家,吴健平,陈芸. 基于人工智能的土地利用适宜性评价模型研究与实现[D]. 上海:华东师范大学,2010.

[8] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2005.

[9] 刘殿伟,黄妮,王宗明,等. 基于 GIS 的三江平原耕地适宜性评价研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2009,25(4):414-422.

[10] 唐秀美,陈百明,路庆斌,等. 栅格数据支持下的耕地适宜性评价研究:以山东省章丘市为例[J]. 资源科学,2009,31(12):2164-2171.

[11] 金涛. 基于 GIS 的土地适宜性评价研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2006.

[12] 柯新利,荣庚午,韩冰华. 基于 AHP 和 GIS 的湖北省耕地适宜性评价[J]. 国土与自然资源研究,2011,(4):35-36.

[13] 廖顺宝,李泽辉,游松财. 气温数据栅格化的方法及其比较[J]. 资源科学,2003,25(6):83-88.

[14] 曾凌云. 基于 RUSLE 模型的喀斯特地区土壤侵蚀研究[D]. 北京:北京大学,2008.

[15] 章文波,谢云,刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705-711.

[16] 刘锐,胡伟平,王红亮,等. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析[J]. 地理科学,2011,31(1):81-86.

[17] 陈颖,吴柏清,邹卓阳,等. 基于 GIS 的土地适宜性评价:以四川省马尔康县为例[J]. 水土保持研究,2010,17(4):100-103.

[18] 范娟. 基于 GIS 的隆昌县耕地适宜性评价[D]. 成都:成都理工大学,2013.

[19] 吴文斌. 基于遥感和 GIS 的土地适宜性评价研究[D]. 北京:中国农业科学院,2005.

[20] Quan B, Zhu H J, Chen S L, et al. Land suitability assessment and land use change in Fujian Province, China[J]. Pedosphere, 2007,17(4):493-504.

[21] 张雁. 基于 RS, GIS 的喀斯特地区土地适宜性评价研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.